

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-084434

(43)Date of publication of application : 26.03.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/313
G02B 6/12

(21)Application number : 09-236671

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 02.09.1997

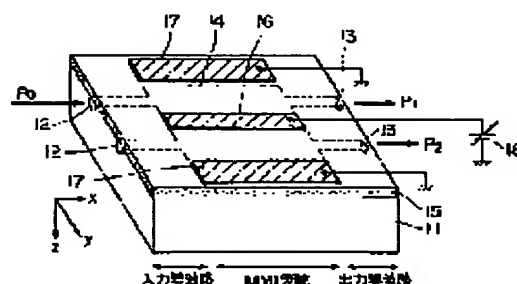
(72)Inventor : MITOMI OSAMU
MIYAZAWA HIROSHI
NOGUCHI KAZUTO

(54) LIGHT CONTROL CIRCUIT AND ITS OPERATION METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical control circuit which adjusts or switches the distribution ratio of the light waves traveling in optical waveguides with low loss and high efficiency.

SOLUTION: The optical control circuit constituted by forming two pieces of input waveguides 12, two pieces of output waveguides 13 and an MMI optical multiplexing/demultiplexing waveguide part 14 on an LN (LiNbO₃) substrate 11 is disposed with plural electrodes 16, 17 in this MMI optical multiplexing/ demultiplexing waveguide part 14. In addition, these electrodes 16, 17 are so set as to meet the distribution of the mode fields excited in the multimode interference waveguides.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-84434

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 F 1/313

G 0 2 F 1/313

G 0 2 B 6/12

G 0 2 B 6/12

J

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-236671

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月2日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 三富 修

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 宮沢 弘

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 野口 一人

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

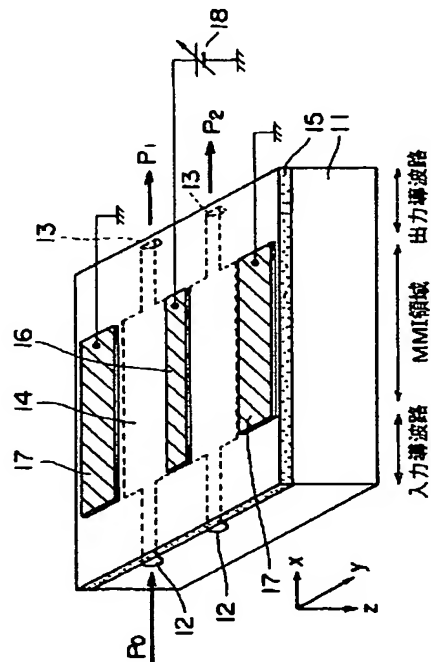
(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)

(54) 【発明の名称】 光制御回路および動作方法

(57) 【要約】

【課題】 光導波路を伝わる光波を低損失かつ高効率で分配比を調節する、あるいはスイッチングする光制御回路およびその動作方法を提供することを課題とする。

【解決手段】 LN基板11に2本の入力導波路12、2本の出力導波路13、並びにMMI光合分波導波路部14が形成されてなる光制御回路において、前記MMI光合分波導波路部14に複数の電極16、17が配置され、かつ前記電極16、17が前記多モード干渉導波路内に励起されるモードフィールドの分布に合わせるように設定されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 単数若しくは複数の光入力部と光出力部とを有する多モード干渉導波路からなる光制御回路において、

単数若しくは複数の電極を有し、そのうち少なくとも1つが前記多モード干渉導波路上に配置され、かつ前記電極の1つ若しくは複数の、前記多モード干渉導波路内に励起されるモードフィールドの分布に合わせるように、その個数、形状、配置が設定されていることを特徴とする光制御回路。

【請求項2】 請求項1において、

前記電極の1つ若しくは複数の、前記多モード干渉導波路内に励起されるモードのうち、回路動作に利用されるモードのモードフィールドの分布のピーク位置を含むように、その個数、形状、配置が設定されていることを特徴とする光制御回路。

【請求項3】 請求項1又は2において、

電極にバイアスを印可しない状態で、前記光制御回路の光出力部からの各出射光が等分配されるようにしたことを特徴とする光制御回路。

【請求項4】 請求項1又は2において、

電極にバイアスを印可しない状態で、前記光制御回路の、1つ、若しくは一部の複数の光出力部から出射光が出力されるようにしたことを特徴とする光制御回路。

【請求項5】 請求項1乃至4において、

前記複数の電極が、進行波形電極を構成していることを特徴とする光制御回路。

【請求項6】 請求項1乃至5において、

前記多モード干渉導波路若しくは電極の一方若しくは両方の平面形状を、テーパー状としたことを特徴とする光制御回路。

【請求項7】 請求項1乃至6において、

多モード干渉導波路が 1×2 、 2×2 、若しくは 1×3 多モード干渉導波路であることを特徴とする光制御回路。

【請求項8】 請求項1乃至7の光制御回路の動作方法において、

前記電極の各々に印可される電圧の極性及び大きさを、前記多モード干渉導波路内に励起されるモードフィールドの分布に合わせるように設定することを特徴とする光制御回路の動作方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光導波路を伝わる光波を低損失かつ高効率で分配比を調節する、あるいはスイッチングする光制御回路およびその動作方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光ファイバあるいは半導体レーザダイオード(LD)からの光波を一本あるいは複数の導波路や

光ファイバに光分配・合波あるいは光スイッチングするために、方向性結合器やX形合分波回路あるいは強結合形方向性結合器等による光制御回路がこれまで多く使用されている。方向性結合器を用いた場合の従来の光制御回路の構成例(斜視図)を図18に示す。

【0003】図18に示すように、従来技術においては、基板01として強誘電体材料であるLiNbO₃、(以下「LN」と記す)を用いており、該LN基板01は光導波路のクラッド部を構成している。該LN基板01には、チタン(Ti)あるいはプロトン等の不純物拡散により形成した入力導波路及び出力導波路のコア部02、03が形成されている。なお、図18中、符号04は方向性結合器を構成する導波路、05は電極06、07による光伝搬損失を防ぐために形成したSiO₂等より成るバッファ層、08は電極06、07に電圧Vを印加するための外部電源を各々図示する。

【0004】本構成の場合、方向性結合器の導波路長Lを完全結合長L_cに設定すると光スイッチになる。導波路長Lを完全結合長の半分の長さ(L=L_c/2)にすると3dB光分配器になる。電圧Vの大きさによって、出力光P₁、P₂の分配比を制御できる。

【0005】一方、導波路内の複数のモード間の干渉を利用して光波の合分波機能を持たせた多モード干渉導波路(以下ではMMI(Multi-Mode Interferometer)と記す)を用いた合分波回路は、前記の方向性結合器と比較してデバイス構造に対する製作時の寸法バラツキ許容偏差量が大い等の特徴を有することから、最近多く使用されるようになってきているが、能動素子としての応用例は、未だ提案されていないのが現状である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このような従来の方向性結合器を用いた光制御回路は、デバイス製作時における導波路の寸法や屈折率の僅かな偏差によって、特性バラツキが大きく生じ、特にクロストークの劣化が大い等の問題があり、実用化の大きな障害となっている。また、MMI導波路を用いて、その実効的な幅あるいは実効的な長さを変えて動作させる従来の光制御回路は、MMI導波路の屈折率を大きく変化させる必要があり、駆動電圧若しくは電流が著しく大い等の効率が悪いという問題がある。

【0007】本発明は、これらの問題を解決すると共に、さらに低損失かつ高効率でスイッチングあるいは分配比を制御する光制御回路および動作方法を提供することを課題とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決する本発明による【請求項1】の光制御回路は、単数若しくは複数の光入力部と光出力部とを有する多モード干渉導波路からなる光制御回路において、単数若しくは複数の電極を有し、そのうち少なくとも1つが前記多モード

干渉導波路上に配置され、かつ前記電極の1つ若しくは複数が、前記多モード干渉導波路内に励起されるモードフィールドの分布に合わせるように、その個数、形状、配置が設定されていることを特徴とする。

【0009】請求項2の光制御回路は、請求項1において、前記電極の1つ若しくは複数が、前記多モード干渉導波路内に励起されるモードのうち、回路動作に利用されるモードのモードフィールドの分布のピーク位置を含むように、その個数、形状、配置が設定されていることを特徴とする。

【0010】請求項3の光制御回路は、請求項1又は2において、電極にバイアスを印可しない状態で、前記光制御回路の光出力部からの各出射光が等分配されるようにしたことを特徴とする。

【0011】請求項4の光制御回路は、請求項1又は2において、電極にバイアスを印可しない状態で、前記光制御回路の、1つ、若しくは一部の複数の光出力部から出射光が出力されるようにしたことを特徴とする。

【0012】請求項5の光制御回路は、請求項1乃至4において、前記複数の電極が、進行波形電極を構成していることを特徴とする。

【0013】請求項6の光制御回路は、請求項1乃至5において、前記多モード干渉導波路若しくは電極の一方若しくは両方の平面形状を、テーパ状としたことを特徴とする。

【0014】請求項7の光制御回路は、請求項1乃至6において、多モード干渉導波路が 1×2 、 2×2 、若しくは 1×3 多モード干渉導波路であることを特徴とする。

【0015】一方、請求項8の光制御回路の動作方法は、請求項1乃至7の光制御回路の動作方法において、前記電極の各々に印可される電圧の極性及び大きさを、前記多モード干渉導波路内に励起されるモードフィールドの分布に合わせるように設定することを特徴とする。

【0016】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例と原理・効果を詳細に説明する。

【0017】図1及び図2は、基板として強誘電体材料であるLNを用いた場合、本発明による 2×2 光制御回路の一実施例であり、図1は光制御回路の斜視図、図2はその上面図を示す。図1及び図2に示すように、本実施例の光制御回路は、LN基板11にチタン(Ti)あるいはプロトン等の不純物拡散により形成した2本の入力導波路12、2本の出力導波路13、並びにMMI光合分波導波路部14が形成されてなる光制御回路において、前記MMI光合分波導波路部14に複数の電極16、17が配置され、かつ前記電極16、17が前記多モード干渉導波路内に励起されるモードフィールドの分布に合わせるように設定されている。前記LN基板11

は、 $-z$ カット板($+z$ 方向がLN結晶の c 軸に相当する))であり、光導波路のクラッド部を構成している。また、前記LN基板11の表面には、パッファ層15が形成されている。なお、図中、符号16は制御電極の中心導体、17は制御電極の接地導体、18は外部電源、及び P_1 、 P_2 は出力光を各々図示する。前記制御電極の中心導体16、接地導体17は図中では斜線部で示している(以下、同様)。

【0018】前記入出力導波路12、13の構造は、基本的には従来の光制御デバイスと同じ構成であり、例えば、入力あるいは出力導波路にモノリシック集積あるいはハイブリッド集積によって接続される光機能処理デバイス部(例えばEO効果を利用した変調電極が配置された屈折率変調部、あるいは第2次高調波発生等の非線形効果を利用した光波長制御部等)や、接続される光ファイバ等の導波光と同程度の大きさのスポットサイズを与える構造としており、導波路12、13幅 w_1 、 w_2 、コア厚 t 、(不純物の拡散長)の寸法ならびにそれら不純物の拡散濃度が設定される。ここで、入出力導波路12、13の間隔 d は、接続される光機能処理部等の構造を勘案して設定され、必要に応じて入出力部で異なった大きさにしても良い。

【0019】前記MMI光合分波導波路部14は、例えば文献[：P.A.Besse, M.Bachmann, H.Melchior, L.B.Soldano, and M.K.Smit, "Optical bandwidth and fabrication tolerances of multimode interference couplers," Journal of Lightwave Technology, vol.12, no.6, pp.1004-1009, 1994.]に示されるような、従来の 2×2 合分波回路のMMI導波路と同様に構成されている。

【0020】図3(a)、(b)、(c)は、本発明による図1及び図2の実施例の原理を説明するための図である。図3(a)はMMI導波路断面部の電圧印加前後の屈折率分布、図3(b)は電圧が無印加($V=0$)時のMMI内に励振される基本(0次)モードと高次(：この場合1次)モードの電界強度分布図、図3(c)は図2のMMIの中央A-A'部の断面図である。LN結晶はポッケルス効果によって、外部印加電圧の大きさに応じて、その屈折率の大きさが変化する。 $-z$ カットLN基板11を用いた図1の実施例において、図3(c)のような電極配置にして電圧を印加すると、 z 方向に偏波面をもつ光波に対しては、ポッケルス効果の異方性によって、LN基板面と垂直方向(z 方向)の外部印加電界の影響を大きく受けるので、特に電極部16、17の直下部で屈折率の大きさが大きく変化する。

【0021】図3(a)は電圧 V の極性がマイナスの場合の変化を示している。この時、中心電極16直下のMMI中心部の屈折率変化に対して、図3(b)に示したMMI導波路の各光波モードの電界強度分布から分かるように、基本モードは中心部の光電界強度が強いため、大きな影響を受け、その等価屈折率(伝搬定数)の

大きさは大きく変化する。一方、1次モードに対しては、屈折率変化部でのモード光電界強度が相対的に弱くなっているため、その影響は比較的小さく、等価屈折率の変化量は小さい。

【0022】本発明では、MMI導波路に励振される光波モードのうち、光合分波動作に利用する各モードの電界強度分布に合わせるように、MMI領域上に電極を適当に配置している。これによって、印加電圧によって生ずる屈折率変化に対して、各モードへの影響の度合いに差を持たせる事を利用して、光分配比調整あるいは光スイッチング動作を高効率に行っている。

【0023】図4(a)、(b)及び図5(a)、

(b)は、図1の実施例において、本発明の効果を説明する図であり、波長 $1.53\mu\text{m}$ 帯 2×2 MMI光合分波回路について、固有モード展開法を用いた近似計算の結果を示す。ここでは、通常の熱拡散法によりLN基板にTiを拡散して形成した光導波路で構成した場合を解析している。計算を簡単化するために、電圧無印加の時、拡散導波路をコア層、クラッド部がそれぞれ様な大きさの屈折率を持つものとして、等価屈折率法によるスラブ導波路モデル解析を行っている。

【0024】入出力導波路幅は $w_1 = w_2 = 6\mu\text{m}$ 、入出力導波路間隔は $d = 20\mu\text{m}$ 一定とした。また、電極ギャップは $G_1 = G_2$ として、図3(a)に示すようなMMI内の屈折率分布を対称形状になるようにした。外部印加電界によるLNの屈折率変化量 Δn については、LN結晶のポッケルス効果と通常のバッファ層15の材質、厚さを想定して、ここではz方向の偏波をもつ伝搬光(波長 $1.53\mu\text{m}$ 帯)に対して、 $\Delta n = 1 \times 10^{-3} / V$ として計算した。

【0025】図4(a)では、図1において電圧 $V = 0$ の時のほぼ3dB($P_1 = P_2 \sim P_0 / 2$)の光分配回路になるように、MMI導波路幅 $w_m = 29\mu\text{m}$ 、長さ $L = 3.15\text{mm}$ に設定している。この様にする事により消光比を大きくすることができる。この時、電極幅 W を変えた時の出力光 P_1 、 P_2 の印加電圧依存性を示す。この図から、 W を狭くする程高効率な光分配調整動作が可能になり、またスイッチング動作させる時、高消光比特性を得られる事が分かる。これは、MMI導波路中央部の屈折率変化に対する、1次モード伝搬特性への影響が相対的に小さくなっているための効果である。ただし、 W が $\sim 4\mu\text{m}$ 以下になると、基本モードへの影響も小さくなり、動作効率が悪くなることを確認している。

【0026】図4(b)は、 $w_m = 29\mu\text{m}$ 、 $W = 8\mu\text{m}$ 一定とした時、MMI導波路長 L を変えた時の動作特性である。 L が 3.15mm より長くなる、あるいは短くなると過剰損失が大きくなるが、各曲線の傾きはほぼ同一であり、印加電圧の差が同一であれば、損失の変化の割合、あるいは P_1 と P_2 の比はさほど変化しない

事が分かる。この事から、従来例の問題点であったデバイス製作時の僅かな構造、寸法等の偏差によって特性バラツキが大きく生じていたのに対して、本発明ではこの問題を緩和できる事が分かる。

【0027】図5(a)は、 $d = 20\mu\text{m}$ 、 $W = 8\mu\text{m}$ 一定とし、MMI導波路幅 w_m を変えて導波路長 L を 2×2 光分配動作が最適になるように設定した時の特性である。 w_m を広く設定して L を長くする程、僅かな屈折率変化で動作できるので、高効率動作が可能になる。従って、 w_g を固定して、MMI導波路長 L' を図4

(a)、(b)及び図5(a)に示した実施例の L に対して、 $L' = L + 2nL$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)に設定すれば、同様な特性を得られるので、 L' を長くする程さらに高効率な動作が可能である。

【0028】以上の図4(a)、(b)及び図5(a)では、電極16、17にバイアスを印加しない($V = 0$)時に、出力導波路13からそれぞれほぼ等しい出力光を得る($P_1 \sim P_2$)ように、MMI導波路構造を設定した場合を示した。

【0029】図5(b)では、0バイアス($V = 0$)時に出力光 P_1 がほぼ0になるようにMMI導波路構造を設定した場合の動作特性を示す。この様にする事により消光比を大きくすることができる。この場合も、電圧 V を適当に印加することにより、光分配・スイッチング動作が可能なる事が分かる。また、図5(b)の実施例の L に対して、 $L' = nL$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)に設定すれば、 L' を長くする程、高効率な動作が可能である。

【0030】以上では入出力導波路幅は $w_1 = w_2 = 6\mu\text{m}$ 、入出力導波路間隔は $d = 20\mu\text{m}$ 一定として、電極ギャップを $G_1 = G_2$ とした場合を示したが、 w_1 、 w_2 、 d あるいは導波路材料の屈折率 n の大きさや導波光のスポットサイズの大きさに合わせて、MMI導波路・電極構造を適当に設定すれば、本発明の効果を同様に得る事ができる。また、入出力導波路の寸法やMMI導波路に接続する位置、あるいはMMI導波路構造を適当に設定する事により、 $V = 0$ の時の P_1 、 P_2 の分配比を任意の大きさに設定でき、この場合も本発明の効果を得ることができる。

【0031】図6は、本発明による他の一実施例の上面図であり、 $-z$ カットLN基板21を用いた 2×2 光分配回路の構成を示している。入出力導波路22、23及びMMI導波路24の構造や導波路間隔 d は、図1の実施例と同じである。この場合、電圧印加による屈折率変化の効果を、基本モードに対しては小さくし、1次モードに対しては大きくするように、電極中心導体26を2箇所配置している。従って、本実施例の中心導体ギャップ G を図1の実施例の電極幅 W とおおよそ同じ大きさにすると、図1の実施例と同様の動作特性を得ることができる。ただし、電圧の極性に対しては逆の動作特性にな

る。

【0032】図7は、本発明による他の一実施例の上面図であり、x若しくはyカットLN基板31を用いた2×2光分波回路の構成を示している。入出力導波路32、33及びMMI導波路34の構造は、図1の実施例と同じである。本実施例の場合、LN基板31面と平行方向(z方向)の外部印加電界を利用するので、中心導体36と接地導体37のMMI間隙部の屈折率が大きく変化する。従って、本構成の電極配置($G \sim W$ 、 $W_1 \sim G_1$ 、 $W_2 \sim G_2$)によって、図1の実施例の場合と同様な動作特性を実現できる。

【0033】図7において、基板31として-zカットLN基板を用い、同じ導波路・電極構成をとった場合も、本発明の効果をj得る事ができる。この場合、入出力導波路幅 $w_1 = w_2 = 6 \mu m$ 、入出力導波路間隔 $d = 20 \mu m$ 、MMI導波路幅 $w_m = 29 \mu m$ 、電極ギャップ $G = 10 \mu m$ 一定として、導波路長Lを変えた時の2×2光分波特性を図8に示す。L=3.15mmの場合、過剰損失が比較的小さくでき、印加電圧によって光分配比をかえる事ができる。ただし、この場合、電圧印加によって、MMI導波路内の屈折率分布が非対称形になるために、図1の実施例(図4(b))と異なる動作特性を示す。すなわち、本発明ではMMI導波路内のフィールド形状に合せて、MMI導波路内の屈折率変化の特性・大きさを外部電源で制御すれば、各モードの伝搬定数とフィールド形状を同時に変えることができるので、光分波器の分配比や出力特性をさらに最適に制御できることになる。

【0034】図9は、本発明による他の一実施例の上面図であり、-zカットLN基板41を用いた1×2光分波回路の構成を示している。入出力導波路42、43及びMMI導波路44の構造は、図2の実施例と同じである。前記1×2光分波MMI導波路44は、従来と同様な構成にしても良い。この場合、MMI導波路44に励振されるモードは、主に偶モード(0次、2次、4次、...)になるので、これらのモードフィールド形状を考慮して電極構造を設定すればよい。図9の実施例において、印加電圧 $V = 0$ の時に出力光 P_1 、 P_2 が3dB分波されるようにMMI導波路幅 $w_m = 40 \mu m$ 、導波路長 $L = 1.38 mm$ 、出力導波路幅 $d = 20 \mu m$ の構造とした時、分波特性の印加電圧依存性を図10に示した。図10から電圧印加によって分配比を調整できることが分かる。

【0035】図11は、本発明による他の一実施例の上面図であり、-zカットLN基板51を用いた1×2光分波回路の構成を示している。入出力導波路52、53及びMMI導波路54の構造は、図9の実施例と同じである。この場合、電極56、57がMMI導波路の中央部に配置される。電圧印加による屈折率変化に対して、MMI内の基本モードより2次モードへの影響が相対的

に小さくなるように電極構成をとっている。図12は図11の実施例の動作特性であり、適当な電圧印加により、挿入損失を小さくできる。

【0036】図13は、本発明による他の一実施例の上面図であり、-zカットLN基板161を用いた1×3光分波回路の構成を示している。入出力導波路62、63及びMMI導波路64の構造は、図9の実施例と同じである。この場合、2つの電極中心導体66-1、66-2にそれぞれ別々の電源68が接続される。図13の実施例において、電圧が無印加($V_1 = V_2 = 0$)の時、出力 P_1 、 P_2 、 P_3 が等分配されるようにMMI導波路64を構成した場合の動作特性例を図14

(a)、(b)に示す。図14(a)は、2つの中心導体66-1、66-2を等電圧($V_2 = V_1$)に、図14(b)はその極性を逆($V_2 = -V_1$)にした時の特性である。すなわち、適当なバイアス設定により、1×3光スイッチング動作が可能である。

【0037】図15は、本発明による他の一実施例の上面図であり、-zカットLN基板71を用いた1×2光分波回路の構成を示している。この場合、1×2光分波MMI導波路74の幅 w_m 、やコア厚 t_m はテーパ状に構成されており、このテーパ状の導波路には、入出力導波路72、73が形成されている。前記入力導波路72側の構造は、基本的には従来のMMIと同じ構造を取り、入力導波路に接続される例えば半導体光機能デバイスの導波光と同じ大きさのスポットサイズを与える導波路幅 w_1 、 w_{m1} 、コア厚 t_{m1} の寸法ならびにそれらの材質が設定される。MMIの出力導波路73側では、出力導波路に接続される例えば光ファイバのスポットサイズに合わせるように、出力導波路、MMI導波路幅 w_2 、 w_{m2} 、コア厚 t_{m2} が設定される。この場合、入力側と比較して出力側導波光のスポットサイズを拡大している実施例を示している。横方向のスポットサイズは、MMI導波路幅 w_m を光軸方向でテーパ状に徐々に広げる事によって拡大している。テーパ状にすることにより、素子の小型化が図れると共に、スポットサイズの変換を行うことが可能となる。

【0038】そのテーパ形状については、例えば放物線状あるいは指数関数状等の曲線形状、直線形状、あるいはそれらの組み合わせでもよい。縦(:深さ)方向のスポットサイズは、この場合コア厚 t_m をz軸方向で徐々に薄くして縦方向の導波路閉じ込め効果を弱くする事によって拡大している。また、逆にコア厚を必要なスポットサイズの大きさに合わせて、徐々に厚く構成してもよい。このようなMMI導波路内を伝搬する光波のフィールド形状に合わせて電極76、77の形状をテーパ状に構成することにより本発明の効果をj得ることができる。また、入出力導波路幅を同じ($w_1 = w_2$)にして、MMI導波路・電極テーパ形状を適当に設定すれば1×2光スイッチ動作も可能である。

【0039】図16は、本発明による他の一実施例の上面図であり、電極86、87の寸法、形状をマイクロ波線路の一部として構成した進行波形コプレーナ電極（：CPW）を用いた場合を示す。入出力導波路82、83及びMMI導波路84の構造は、図1の実施例と同じである。電極の光入射側から信号源89からのマイクロ波信号を入力させ、電極の出力側に終端抵抗（R）90を接続している。このような進行波形電極構成において、マイクロ波と光波の伝搬速度を一致（：速度整合比）させ、しかも電極の特性インピーダンスを信号線、終端抵抗のインピーダンス Z_i 、R（通常 $Z_i = R = 50\Omega$ ）に合わせるようにコプレーナ電極86、87構造を設定することにより高速な光分配・スイッチ動作が可能になる。

【0040】図17は、本発明による他の一実施例の斜視図であり、光制御回路を半導体材料で構成した場合の一例を示す。111は導波路のクラッド部および接地電極107の一部の機能をもつn形半導体、112は単層あるいは例えば多層量子井戸層のような異なる材質からなる多層の半導体コア層、113はクラッド部になるp形半導体およびキャップ層である。このような構成において、ポッケルス効果、あるいはキャリア注入によるブラズマ効果、量子閉じ込めシュタルク効果等の電気光学効果を利用して中心導体106直下の半導体コア層112の屈折率を電源108からの信号に応じて変化させれば本発明の効果を得ることが出来る。

【0041】以上では、 2×2 、 1×2 若しくは 1×3 の光分波回路構成を示したが、これ以外に、例えば高消光比特性を得るための光合波回路や、 $n \times m$ 光合分波回路（ n 、 m ：任意の整数）、光波長フィルタ、光モードフィルタ、あるいは異なる波長の光を合分波する光デバイス等、MMI導波路の特性を利用したあらゆる光デバイスに本発明を適用できる。

【0042】以上では、基板に $LiNbO_3$ を、コア層にTi拡散導波路を用いた場合を主に示したが、これ以外に導波路材料として、 $LiTaO_3$ やPLZT等の強誘電体材料、あるいは半導体材料、ガラス、石英等の無機材料、ポリイミド等の有機材料など電気光学効果を有するあらゆる光導波路材料を用いたデバイスに対して本発明を適用できる。

【0043】以上では、MMI導波路内の主にコア層の屈折率を外部電源で変化させる場合を示したが、例えばMMI導波路のコア層近傍に配置された一部クラッド層の屈折率を変化させて各モードの伝搬特性を制御しても同様の効果を得ることができる。また、MMI導波路の入出力部に入出力導波路を配置した場合を示したが、MMI入出力部に他の光導波路デバイスがそれぞれの導波路端面で直接光結合をとる、あるいはレンズを介して接続される場合も、それら接続される導波光のスポットサイズに合わせるように、MMIの構造・材質・寸法を適

当に設定すれば本発明の効果を得ることができる。また、他の光機能デバイスを本発明の光制御デバイス入出力導波路部にモノリシックあるいはハイブリッド集積化しても本発明の効果を得ることができるのは自明である。

【0044】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による光制御回路は、光合分波回路として、導波路内の複数のモード間の干渉を利用して光波の合分波機能を持たせた多モード干渉導波路を用い、その領域上の少なくとも一部に制御用電極を励振モードフィールド形状に合わせるように配置し、外部電源から制御用電極に電圧若しくは電流を印加することによって光を合分波制御あるいはスイッチング動作しているため、デバイス製作時の材質・寸法等の許容偏差量が緩和され、さらに低損失から高効率な動作を可能にしている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光制御回路の一実施例を示す斜視図である。

【図2】本発明による光制御回路の一実施例を示す上面図である。

【図3】（a）、（b）、（c）は本発明の原理を説明するための図である。

【図4】（a）、（b）は本発明の効果を説明するための図である。

【図5】（a）、（b）は本発明の効果を説明するための図である。

【図6】本発明の他の実施例を示す上面図である。

【図7】本発明の他の実施例を示す上面図である。

【図8】本発明の効果を説明するための図である。

【図9】本発明の他の実施例を示す上面図である。

【図10】本発明の効果を説明するための図である。

【図11】本発明の他の実施例を示す上面図である。

【図12】本発明の効果を説明するための図である。

【図13】本発明の他の実施例を示す上面図である。

【図14】本発明の効果を説明するための図である。

【図15】本発明の他の実施例を示す上面図である。

【図16】本発明の他の実施例を示す上面図である。

【図17】本発明の一実施例を示す斜視図である。

【図18】従来の光制御回路の斜視図である。

【符号の説明】

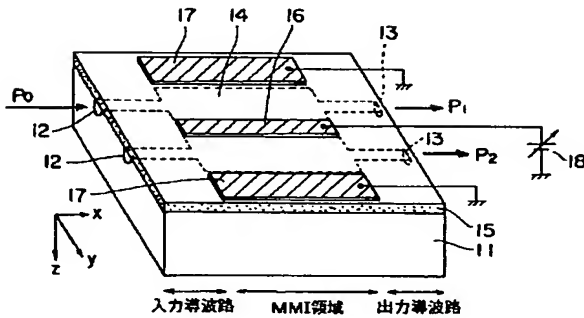
11、21、41、51、61、71、81 基板
12、22、42、52、62、72、82 入力導波路
13、23、43、53、63、73、83 出力導波路
14、24、44、54、64、74、83 MMI導波路
15、25、45、55、65、75、85 バッファ層

11

16, 26, 46, 56, 66, 76 電極中心導体
 17, 27, 47, 57, 67, 77 電極接地導体
 18, 28, 48, 58, 68, 78, 88 外部電源
 86, 87 コプレーナ電極
 90 終端抵抗
 106 中心導体

*

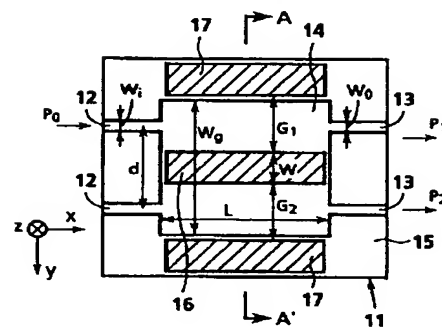
【図1】



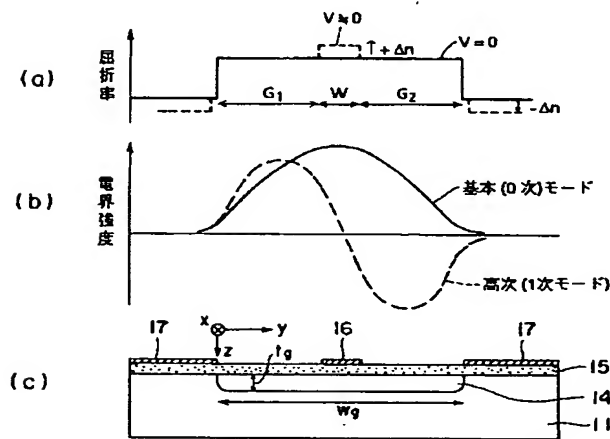
12

* 107 接地電極
 108 電源
 111 n形半導体
 112 半導体コア層
 113 p形半導体およびキャップ層

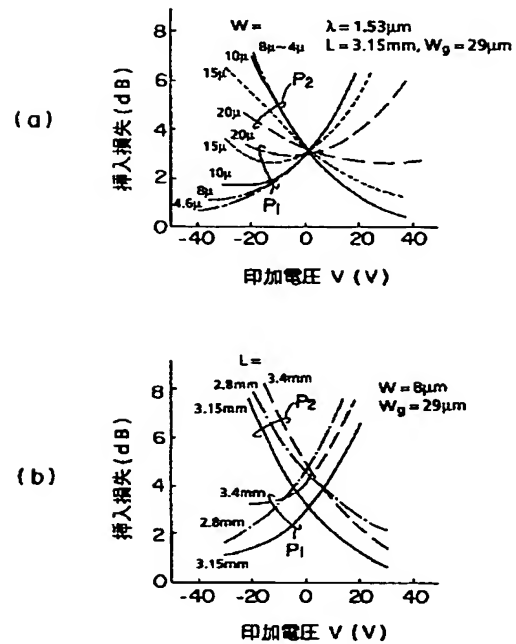
【図2】



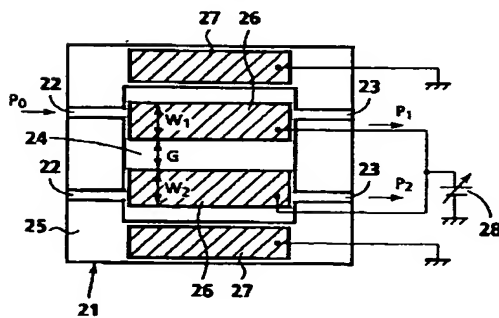
【図3】



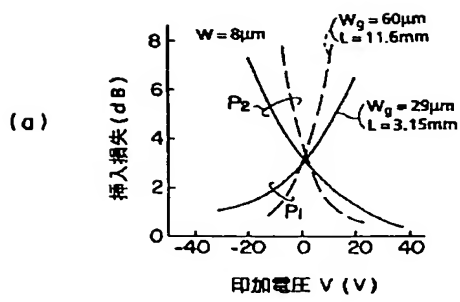
【図4】



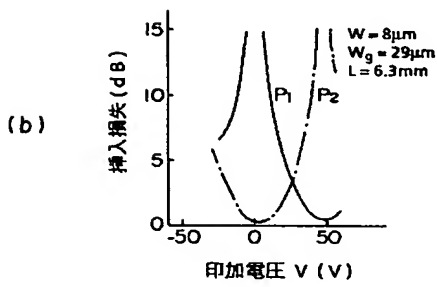
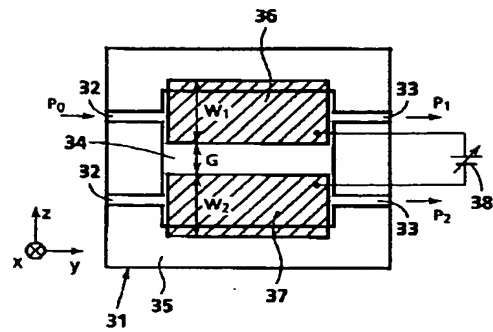
【図6】



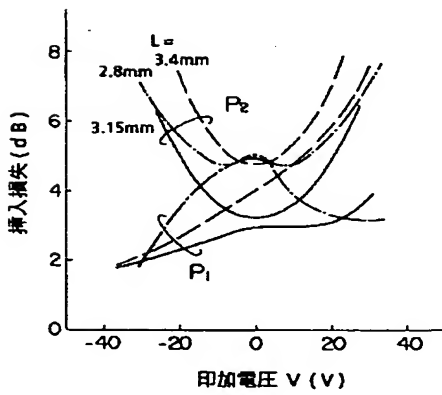
【図 5】



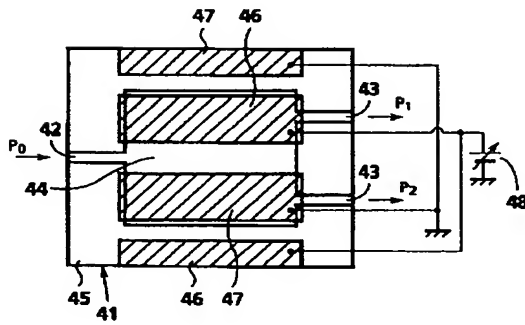
【図 7】



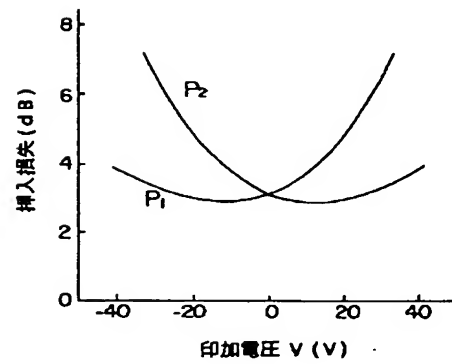
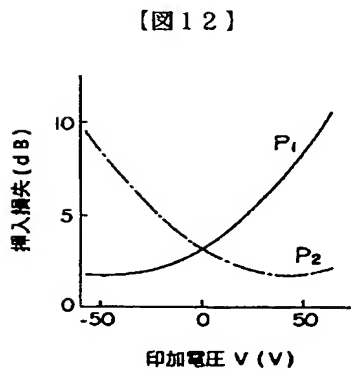
【図 8】



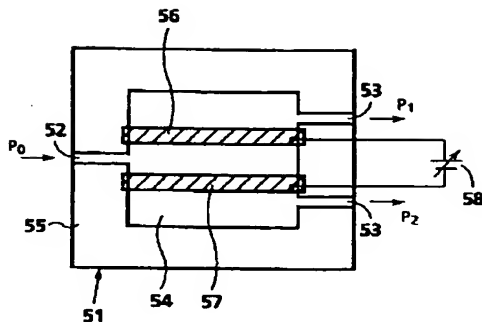
【図 9】



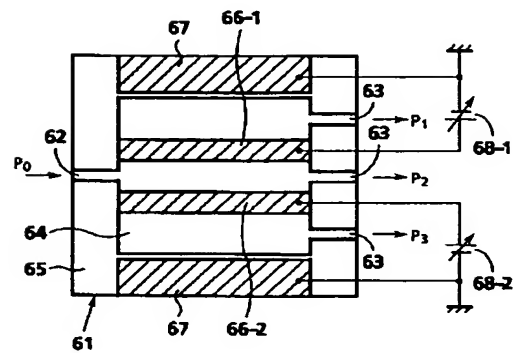
【図 10】



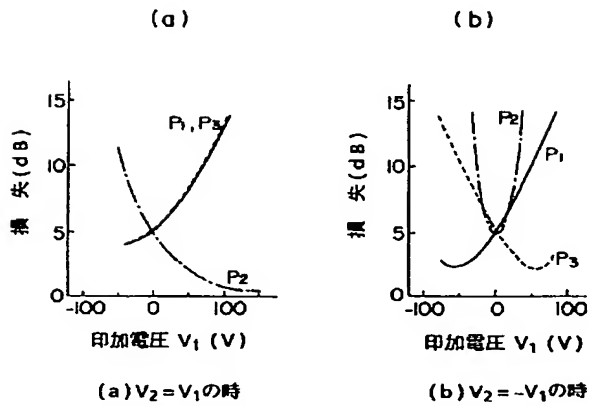
【図11】



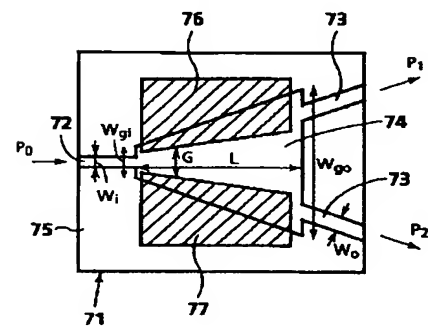
【図13】



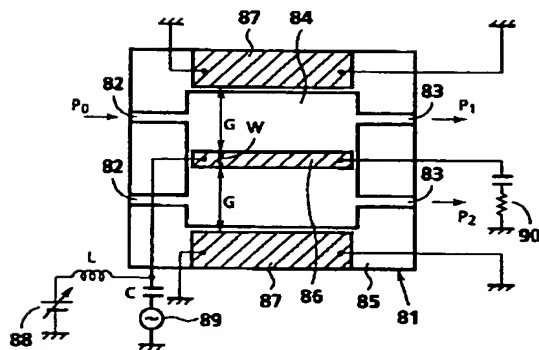
【図14】



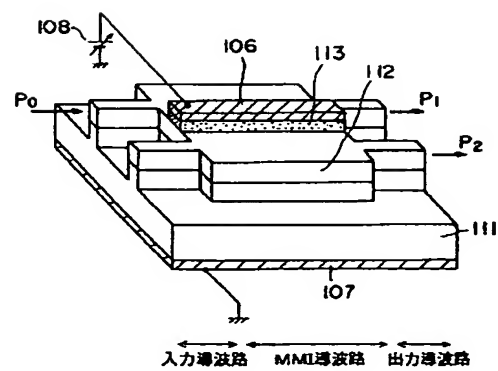
【図15】



【図16】



【図17】



【図 18】

従来技術

